



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 198 35 008 A 1

⑥ Int. Cl. 6:
H 01 L 33/00
H 01 L 21/205

DE 198 35 008 A 1

⑪ Aktenzeichen: 198 35 008.2
⑪ Anmeldetag: 3. 8. 98
⑪ Offenlegungstag: 11. 2. 99

⑩ Unionspriorität:
9-208865 04.08.97 JP

⑪ Anmelder:
Sumitomo Chemical Co., Ltd., Osaka, JP

⑪ Vertreter:
Vossius & Partner GbR, 81675 München

⑪ Erfinder:
Iyechika, Yasushi, Tsukuba, Ibaraki, JP; Ono,
Yoshinobu, Yawara, Tsukuba, JP; Takada,
Tomoyuki, Tsukuba, Ibaraki, JP; Shimizu, Masaya,
Tsukuba, Ibaraki, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑩ Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters
⑩ Ein Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1,0 \leq x \leq 1,0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) durch ein metallorganisches Gasphasenepitaxieverfahren wird bereitgestellt. Der III-V Halbleiter weist eine Halbleiterschicht, bestehend aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht, und eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthaltende Halbleiterschicht auf. Bei dem Verfahren wird ein Reaktor für das Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und ein anderer Reaktor zum Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs verwendet.

DE 198 35 008 A 1

DE 198 35 008 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters, der z. B. für eine lichtemittierende Vorrichtung geeignet ist, der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x+y+z=1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$).

Es ist ein III-V Halbleiter der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x+y+z=1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) als Material für eine lichtemittierende Vorrichtung, wie eine ultraviolette, blaue oder grünes Licht emittierende Diode oder eine ultraviolette, blaue oder grüne Laserdiode, bekannt. Nachstehend können in einigen Fällen x , y und z in der allgemeinen Formel als InN -Kristallmischverhältnis, GaN -Kristallmischverhältnis bzw. AlN -Kristallmischverhältnis bezeichnet werden. Bei den III-V Halbleitern, insbesondere solchen, die 10% oder mehr InN -Kristallmischverhältnis enthalten, kann die Emissionswellenlänge im sichtbaren Bereich gemäß dem InN -Kristallmischverhältnis eingestellt werden, und daher ist er besonders für Anzeigeanwendungen wichtig.

Beispiele des Herstellungsverfahrens des III-V Halbleiters schließen Molekularstrahlepitaxieverfahren (nachstehend als MBE bezeichnet), metallorganische Gasphasenepitaxieverfahren (nachstehend als MOVPE bezeichnet) und Hydridgasphasenepitaxieverfahren (nachstehend als HVPE bezeichnet) ein. Unter diesen Verfahren ermöglicht das MOVPE-Verfahren gleichmäßiges Kristallwachstum über einen großen Bereich und ist daher wichtig.

Es sind Be , Ca , Mg , Zn und C als Dotierungsmittel des Akzeptortyps bekannt, um dem Halbleiter Leitfähigkeit des p-Typs zu verleihen. Von diesen ist Mg zum Verleihen höherer Leitfähigkeit des p-Typs als die anderen Dotierungsmittel fähig und wird daher gegenwärtig weit verbreitet verwendet. Folgende Beschreibung wird unter Verwendung von Mg als Beispiel gegeben, jedoch ist allgemein bekannt, daß die gleichen Schwierigkeiten mit den anderen Dotierungsmitteln des p-Typs auftreten.

Als Mg -Quellen zur Verwendung beim MOVPE-Verfahren sind Biscyclopentadienylmagnesium ($(C_5H_5)_2Mg$, nachstehend als Cp_2Mg bezeichnet), Bismethylcyclopentadienylmagnesium ($(C_5H_4CH_3)_2Mg$, nachstehend als MCp_2Mg bezeichnet) und Biscethylcyclopentadienylmagnesium ($(C_5H_4C_2H_5)_2Mg$, nachstehend als BCp_2Mg bezeichnet) bekannt. Jede dieser Substanzen wird in starkem Maße an einer Gasleitung und einem Reaktor adsorbiert, und daher beginnt der Einbau der Dotierungsmittel in den Kristall mit einer Verzögerung nach der Zufuhr einer Dotierungsmittelquelle. Es tritt auch die Schwierigkeit auf, daß der Einbau von Dotierungsmitteln allmählich ungewöhnlich in den folgenden Versuchen nach dem Wachstum, in denen eine Dotierungsmittelquelle geflossen ist, bewirkt wird. Das wird allgemein als Memory-Effekt eines Dotierungsmittels bezeichnet.

Der große Nachteil des Memory-Effekts besteht insbesondere darin, daß die Schicht, die zur Verwendung in der emittierenden Schicht einer lichtemittierenden Vorrichtung hochrein sein muß, ungewollt mit einem Dotierungsmittel dotiert wird, und das macht den Erhalt einer Schicht mit der gewünschten Qualität schwierig. Diese Dotierungsmittelquellen reagieren mit den die Gasleitung oder einen Reaktor bildenden Materialien, wonach Verunreinigungen allmählich aus den Materialien freigesetzt werden, was auch Schwierigkeiten verursacht, daß eine Schicht mit der gewünschten hohen Qualität nicht gezüchtet werden kann. Ferner muß bei einer großen Apparatur mit industrieller Größenordnung eine große Menge an Dotierungsmittelquelle zugeführt werden, und daher waren diese Schwierigkeiten besonders ernste Probleme.

Eine Aufgabe der Erfindung ist, ein Verfahren zur nacheinanderfolgenden Herstellung eines III-V Halbleiters mit hoher Qualität unter Verringerung des Memory-Effekts des Dotierungsmittels bereitzustellen.

Als Ergebnis verschiedener Untersuchungen zur Lösung der vorstehenden Probleme wurde festgestellt, daß unter Verwendung von zwei Wachstumsreaktoren, d. h. einem Reaktor, in dem eine Ausgangssubstanz mit Memory-Effekt nicht verwendet wird und einem anderen Reaktor, in dem eine Ausgangssubstanz mit Memory-Effekt verwendet wird, und aufeinanderfolgendes Aufwachsenlassen der Schichtstrukturen, die für eine lichtemittierende Vorrichtung erforderlich sind, der Memory-Effekt eines Dotierungsmittels stärker verringert wird, als wenn das Wachstum in einem Wachstumsreaktor durchgeführt wird. Das ermöglicht wiederholt die stabile Herstellung eines Nitridsystem-III-V Halbleiters mit hoher Qualität.

Die vorliegende Erfindung betrifft [1] ein Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x+y+z=1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) durch ein Gasphasenepitaxieverfahren, wobei der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine Halbleiterschicht aufweist, die eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht einschließt, wobei ein Reaktor für das Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und ein anderer Reaktor zum Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs verwendet werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch [2] ein Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x+y+z=1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) durch ein Gasphasenepitaxieverfahren, wobei bei der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthaltende Halbleiterschicht aufweist, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt: (1) Aufwachsenlassen eines Halbleiters, der eine oder mehrere Schichten einschließt, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht bestehen, in einem Reaktor und Herausnehmen aus dem Reaktor, und (2) erneutes Einbringen des erhaltenen Halbleiters in den Reaktor um eine Halbleiterschicht, die eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthält, auf der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, in dieser Reihenfolge aufwachsen zu lassen, und mehrmaliges Wiederholen mindestens eines der Schritte (1) oder (2).

Gemäß der vorliegenden Erfindung kann der Einfluß der Verunreinigung im Wachstumsreaktor unterdrückt und die Reproduzierbarkeit in starkem Maß verbessert werden, indem man das Herstellen der Schichtstruktur einer lichtemittierenden Vorrichtung auf den ersten und zweiten Wachstumsreaktor verteilt oder indem man die Wachstumsschritte der Schichtstruktur der lichtemittierenden Vorrichtung getrennt durchführt, wenn ein Wachstumsreaktor verwendet wird. Die Ausbeute zur Herstellung eines epitaxialen Wafers für eine lichtemittierende Vorrichtung mit hoher Lichtausbeute kann in starkem Maß verbessert werden, und die vorliegende Erfindung ist außerst nützlich und weist große industrielle

DE 198 35 008 A 1

Bedeutung auf.

Fig. 1 ist ein Querschnitt, der ein Beispiel des Aufbaus eines in vorliegender Erfindung verwendbaren Reaktors veranschaulicht.

Fig. 2 ist ein Querschnitt, der ein anderes Beispiel des Aufbaus des in vorliegender Erfindung verwendbaren Reaktors veranschaulicht.

Fig. 3 ist ein Querschnitt, der den Aufbau der in den Beispielen 1 bis 5 hergestellten Halbleiterschichten veranschaulicht.

Fig. 4 ist ein Querschnitt, der den Aufbau der in Beispiel 6 hergestellten Halbleiterschichten veranschaulicht; und

Fig. 5 ist ein Querschnitt, der den Aufbau der in Beispiel 10 hergestellten Halbleiterschichten veranschaulicht.

5

10

Bezugszeichenliste

1 Sekundärzylinder

15

2 Substrat

3 Saphirsubstrat

4 Pufferschicht

5 GaN:Si-Schicht des n-Typs

6 nicht dotierte GaN-Schicht

7 nicht dotierte GaN-Schicht

8 lichtemittierende InGaN-Schicht

20

9 AlGaN-Schicht

10 Laminat aus im ersten Wachstumsreaktor aufgewachsen gelassenen Schichten (der erste Teil)

11 AlGaN-Schicht

12 GaN:Mg-Schicht des p-Typs

13 Laminat aus im zweiten Wachstumsreaktor aufgewachsen gelassenen Schichten (der zweite Teil)

25

14 InGaN-Schicht

15 InGaN-Quellschicht

16 GaN-Sperrsicht

Nachstehend wird die vorliegende Erfindung im einzelnen beschrieben.

Ein erfindungsgemäßer III-V Halbleiter ist ein III-V Halbleiter der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$).

Als Kristallzüchtapparatur nach dem MOVPE-Verfahren zur Verwendung bei der erfindungsgemäßen Herstellung eines III-V Halbleiters kann eine Apparatur mit bekannter Struktur verwendet werden. Konkrete Beispiele davon schließen eine Apparatur, bei der eine Ausgangssubstanz von oben auf ein Substrat gesprührt wird, und eine Apparatur ein, bei der eine Ausgangssubstanz von der Seite auf das Substrat gesprührt wird. Bei diesen wird das Substrat grob in Aufwärtsrichtung angebracht. Eine Apparatur, bei der das Substrat in Abwärtsrichtung angebracht ist, kann ebenfalls verwendet werden. In diesem Fall wird eine Ausgangssubstanz beispielsweise vom unteren Teil dem Substrat zugeführt oder von der Seite auf das Substrat gesprührt wird. In diesen Reaktoren muß das Substrat nicht genau horizontal orientiert werden, und es ist auch der Fall eingeschlossen, bei dem das Substrat fast vertikal oder vollständig vertikal orientiert ist. Typische Beispiele davon sind in den Fig. 1 und 2 gezeigt. Gleichtes gilt auch für eine Wachstumsapparatur, die zum Verarbeiten mehrerer Substrate gleichzeitig unter Anwendung solcher Anordnungen der Substrate und Gaszufuhr fähig ist.

35

Das Herstellungsverfahren [1] eines erfindungsgemäßen III-V Halbleiters ist dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Herstellungsverfahren des III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) mit metallorganischem Gasphasenepitaxieverfahren der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht [erster Teil], die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine Halbleiterschicht [zweiter Teil] aufweist, die eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthält, wobei der Reaktor zum Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und der Reaktor zum Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotiert wird, voneinander unabhängig und verschieden sind.

40

Genauer entstehen, wenn der Schritt, bei dem der erste Teil und anschließend der zweite Teil im gleichen Reaktor gezüchtet wird, wiederholt wird, die vorstehend erwähnten Probleme zum Zeitpunkt des zweiten und späteren Aufwachsenlassen der ersten Schicht durch den Memory-Effekt des Dotierungsmittels. Um einen solchen Nachteil zu vermeiden, ist die vorliegende Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktor zum Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs und der Reaktor zum Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, voneinander verschieden sind. Folglich kann eine Reihe von Halbleitern, bei denen der erste Teil aufgewachsen ist, hintereinander hergestellt werden und dann jeweils der zweite Teil davon in einem anderen Reaktor aufwachsenlassen werden. Das kann den Memory-Effekt eines Dotierungsmittels beim zweiten und späteren Aufwachsenlassen nach erstmaligem Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs beseitigen.

50

Bei diesem Verfahren können die Substrate einmal aus einem Wachstumsreaktor an die Luft herausgenommen werden und dann in einen anderen Wachstumsreaktor eingebracht werden. In diesem Fall können die herausgenommenen Substrate untersucht werden, und dann wird das nächste Aufwachsen für die nicht notwendigerweise durchgeführt, die die standardisierten Eigenschaften nicht erfüllen, wobei die endgültige Erzeugung von Fehlern unterdrückt werden kann.

55

Nach Herausnehmen der Substrate aus einem Wachstumsreaktor können die Substrate weiter mit Wasser oder organischen Lösungsmittel gewaschen oder einem Ätzverfahren unterzogen werden, um die Oxidschicht auf der Oberfläche davon zu entfernen. Konkrete Beispiele eines Verarbeitungsmaterials zum Ätzen schließen Alkalilösungen, wie KOH, NaOH und wäßriges Ammoniak, gemischte Lösungen einer Alkalilösung und Wasserstoffperoxidlösung, oder Säuren, wie Fluorwasserstoffsäure, Salzsäure und Salpetersäure, und gemischte Lösungen davon ein.

65

In einer anderen Ausführungsform kann ohne Herausnehmen des Substrats an die Luft das Substrat unter einer inerten

DE 198 35 008 A 1

Atmosphäre, wie Stickstoff oder Argon, in einer Wasserstoffatmosphäre oder in einem Vakuum aus dem ersten Wachstumsreaktor herausgenommen werden, um es in einen anderen Wachstumsreaktor einzubringen. Außerdem kann das Substrat zwischen den Wachstumsreaktoren zusammen mit einem Sekundärzylinder genannten Instrument, auf dem das Substrat befestigt ist, bewegt werden.

- 5 Das Herstellungsverfahren [2] eines erfindungsgemäßen III-V Halbleiters ist dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Herstellungsverfahren des III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) mit metallorganischem Gasphasenepitaxieverfahren der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht (erster Teil), die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine Halbleiterschicht (zweiter Teil) aufweist, die eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht einschließt, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt: (1) Aufwachsenlassen eines eine oder mehrere Schichten umfassenden Halbleiters, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht bestehen, in einem Reaktor und Herausnehmen aus dem Reaktor, und (2) wieder Einbringen des erhaltenen Halbleiters in den Reaktor, um eine Halbleiterschicht, die eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht einschließt, auf der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, im Reaktor in dieser Reihenfolge aufwachsen zu lassen, wobei mindestens einer der Schritte (1) oder (2) mehrmals wiederholt wird.
- 10
- 15

So kann nach aufeinanderfolgendem Wiederholen der Herstellung von Halbleitersubstraten, wobei nur die ersten Teile in einem Wachstumsreaktor aufwachsen gelassen werden, das Aufwachsenlassen der zweiten Teile für diese Substrate im gleichen Reaktor hintereinander wiederholt werden, was verhindert, daß der Memory-Effekt von Dotierungsmittel auf dem ersten Teil entsteht.

- 20 Es wird angemerkt, daß bei Schritt (1) auf einem oder mehreren Halbleitern, die eine oder mehrere Schichten erhalten sollen, die aus nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierter Schicht bestehen, diese aufwachsen gelassen werden können, während im Schritt (2) diese hintereinander oder alle zusammen in einen Reaktor gegeben werden, so daß jeweils der zweite Teil aufwachsen gelassen werden kann.
- 25

Wenn das Aufwachsenlassen des jeweils ersten Teils nach Beenden einer Reihe von Aufwachungen jeweils des zweiten Teils durchgeführt werden soll, wird vorzugsweise das Innere des Reaktors gereinigt, so daß der Effekt des Dotierungsmittels des p-Typs nicht entstehen kann. Das heißt, beim vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren schließt das Verfahren vorzugsweise weiter den Schritt (3) der Reinigung des Inneren des Reaktors anschließend an Schritt (2) ein, und die Schritte (1) bis (3) werden wiederholt.

- 30 Bei jedem der Fälle [1] und [2] ist, wenn das Substrat einmal heraus an die Luft genommen wird, es schwierig, eine Oxidation oder Kontaminierung mit anderen Dotierungsmitteln zu vermeiden. Auch wenn das Substrat nur zwischen den Reaktoren ohne Herausnehmen an Luft bewegt wird, kann eine Kontaminierung der Oberfläche durch Dotierungsmittel austreten. Demgemäß können, wenn der zweite Teil aufwachsen gelassen wird, die Vorrichtungseigenschaften manchmal verschlechtert werden. In einem solchen Fall kann der Schritt des Haltens des Substrats auf einer höheren Temperatur nach Einbringen in einen Reaktor eingeschlossen werden, um die endgültigen Vorrichtungseigenschaften zu verbessern.
- 35

Bei diesem Schritt ist bevorzugt, daß Ammoniak in einer Atmosphäre enthalten ist, um die thermische Zersetzung des Halbleiters zu beschränken.

- 40 Die Haltetemperatur liegt vorzugsweise im Bereich von 500°C bis 1300°C; stärker bevorzugt im Bereich von 600°C bis 1200°C und am stärksten bevorzugt im Bereich von 650°C bis 1150°C. Wenn die Haltetemperatur geringer als 500°C ist, kann die Wirkung dieses Schritts nicht festgestellt werden. Wenn die Temperatur 1300°C übersteigt, kann der erste Teil manchmal thermisch zerstört werden, was Oberflächenrauhheit davon zur Folge hat und so zu nicht erwünschten Ergebnissen führt.

Die bei dem Halteverfahren wirksame Haltezeit kann geeignet gemäß der zu haltenden Temperatur gewählt werden. Im allgemeinen kann, wenn die Haltetemperatur hoch ist, die Haltezeit kurz sein. Die geeignete Haltezeit neigt zur Zunahme mit einer Abnahme in der Temperatur des Halteschritts. Wenn die Temperatur auf 1100°C gehalten wird, liegt die Haltezeit vorzugsweise im Bereich von 30 Sekunden bis 10 Minuten. Wenn sie auf 900°C gehalten wird, liegt die Haltezeit vorzugsweise im Bereich von 1 Minute bis 30 Minuten. Jedoch bewirkt das Halten für zu lange Zeit eine Zersetzung des Halbleiters und ist daher nicht erwünscht.

- 45

Ferner ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters bevorzugt, daß mindestens eine Schicht der Halbleiterschichten, die aus nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schichten besteht, in Kontakt mit und zwischen zwei Schichten mit einem größeren Bandabstand als diese Schicht angeordnet ist.

- 50

Gemäß der vorliegenden Erfindung kann ein III-V Halbleiter mit hoher Kristallinität erhalten werden, und daher kann der III-V Halbleiter vorzugsweise für eine lichtemittierende Vorrichtung verwendet werden. Genauer kann als Schichtstruktur der lichtemittierenden Vorrichtung eine sogenannte Doppelheterostruktur verwendet werden, in der die lichtemittierende Schicht so angeordnet ist, daß sie sich zwischen zwei Schichten mit jeweils einem größeren Bandabstand als der der emittierenden Schicht befindet, um eine elektrische Ladung wirksam auf die emittierende Schicht zu beschränken, woraus sich hohe Lichtausbeute ergibt. Zum wirksamen Beschränken der elektrischen Ladung auf die emittierende Schicht ist jeweils der Bandabstand der zwei Schichten, die in Kontakt mit der emittierenden Schicht sind, größer als der der emittierenden Schicht, vorzugsweise um 0.1 eV oder mehr und stärker bevorzugt um 0.3 eV oder mehr.

- 55

Ferner kann eine sogenannte Mehrquantenquelle, bei der eine Schicht mit großem Bandabstand (nachstehend als Sperrsicht bezeichnet) und eine Schicht mit kleinem Bandabstand (nachstehend als Quellschicht bezeichnet) wiederholt laminiert sind, als emittierende Schicht verwendet werden. Die Bildung der emittierenden Schicht in einer Mehrquantenquelle kann manchmal eine Verbesserung der Lichtausbeute oder eine Verringerung im Ansprechwert einer Laserdiode ergeben. In einem solchen Fall kann eine Mehrquantenquelle vorzugsweise verwendet werden.

- 60

Zum wirksamen Beschränken einer elektrischen Ladung in der Quellschicht ist der Bandabstand der Sperrsicht, die in Kontakt mit der Quellschicht ist, größer als der der Quellschicht, vorzugsweise um 0.1 eV oder mehr und stärker bevorzugt um 0.3 eV oder mehr.

Zum Erhalt hoher Lichtausbeute ist erforderlich, daß die in die Quellschicht eingespeiste Ladung wirksam auf die Quellschicht beschränkt wird. Dafür liegt die Dicke der Quellschicht vorzugsweise im Bereich von 5 Å bis 500 Å

DE 198 35 008 A 1

und stärker bevorzugt im Bereich von 5 Å bis 300 Å.

Wenn die Quellschicht Al enthält, schließt sie leicht Dotierungsmittel, wie Sauerstoff, ein. Demgemäß gibt es bei Verwendung als emittierende Schicht einige Fälle, bei denen die Lichteausbeute vermindert ist. In einem solchen Fall kann eine Schicht, die kein Al enthält und durch die allgemeine Formel In_xGa_yN (wobei $x + y = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$) wiedergegeben wird, als Quellschicht verwendet werden.

Im III-V Halbleiter ist, wenn das InN-Kristallmischverhältnis der emittierenden Schicht hoch ist, die thermische Stabilität nicht ausreichend, was manchmal eine Verschlechterung im Kristallwachstum oder Halbleiterverfahren bewirken kann. Um eine solche Verschlechterung zu verhindern, kann auf eine Schicht mit hohem InN-Kristallmischverhältnis der emittierenden Schicht eine Ladungseinspeisungsschicht mit geringem InN-Kristallmischverhältnis laminiert werden, der eine Funktion als Schutzschicht verlieben werden kann. Damit die Schutzschicht ausreichend Schutzfunktion aufweist, betragen das InN-Kristallmischverhältnis und AlN-Kristallmischverhältnis der Schutzschicht vorzugsweise 10% oder weniger bzw. 5% oder mehr. Stärker bevorzugt betragen das InN-Kristallmischverhältnis und AlN-Kristallmischverhältnis 5% oder weniger bzw. 10% oder mehr.

Damit die Schutzschicht ausreichend Schutzfunktion aufweist, liegt die Dicke der Schutzschicht vorzugsweise im Bereich von 10 Å bis 1 µm und stärker bevorzugt im Bereich von 50 Å bis 5000 Å. Wenn die Schutzschicht eine Dicke von weniger als 10 Å aufweist, kann eine ausreichende Wirkung nicht erreicht werden. Ebenfalls ist mit einer Dicke von mehr als 1 µm die Lichteausbeute verringert, was so zu einem unerwünschten Ergebnis führt.

Wenn, wie vorstehend beschrieben, das Substrat vor dem Aufwachsenlassen des zweiten Teils in einer Ammoniak enthaltenden Atmosphäre auf einer Temperatur im Bereich von 500°C bis 1300°C gehalten wird, kann in dem diesem Schritt zu unterziehenden Halbleiter die Oberflächenschicht der Halbleiterschichten, die aus nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schichten besteht, ein Halbleiter der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 < x \leq 1, 0 \leq y < 1$ und $0 \leq z \leq 1$) sein.

Genauer kann in diesem Fall auf der Schutzschicht weiter ein Halbleiter der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 < x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z < 1$), vorzugsweise eine Schicht mit hohem InN-Kristallmischverhältnis, vorher laminiert sein, gefolgt von thermischer Zersetzung der Schicht mit hohem InN-Kristallmischverhältnis durch das Hochtemperaturverfahren. Danach kann der zweite Teil weiter aufwachsen gelassen werden.

Nachdem der erste Teil des Halbleiters aufgewachsen ist, können sich, wenn eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht im anfänglichen Stadium des Aufwachsens des zweiten Teils aufgewachsen ist, die Vorrichtungseigenschaften manchmal unwiderruflich verschlechtern. In diesem Fall wird zuerst eine nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht aufwachsen gelassen, dann eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht aufwachsen gelassen, was eine Verschlechterung der Vorrichtungseigenschaften verhindern kann. Genauer wird die Schutzschicht aufwachsen gelassen, dann das Substrat einmal aus dem Reaktor herausgenommen. Danach wird das Substrat in den Reaktor zum Aufwachsen des zweiten Teils gegeben. Die Schutzschicht kann zuerst aufwachsen gelassen werden und dann wird die mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht aufwachsen gelassen. In einer anderen Ausführungsform kann vor dem Aufwachsen der Schutzschicht das Substrat einmal in einer Ammoniak enthaltenden Atmosphäre gehalten werden, und dann kann das Aufwachsen der Schutzschicht und weiter das Aufwachsen der mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht durchgeführt werden.

Als Substrat, auf dem der III-V Halbleiter gezüchtet wird, können Saphir, SiC, Si, GaAs, ZnO, NGO ($NdGaO_3$), Spinel ($MgAl_2O_4$) und GaN verwendet werden. Unter diesen können Saphir, Spinel ($MgAl_2O_4$), SiC, GaN und Si einen III-V Halbleiterkristall mit hoher Qualität ergeben und sind daher bevorzugt. Ebenfalls sind SiC, GaN und Si insofern bevorzugt, als ein leitfähiges Substrat hergestellt werden kann.

Bei der Herstellung des III-V Halbleiters mit dem MOVPE-Verfahren können folgende Materialien verwendet werden.

Beispiele des Materials der Gruppe III schließen Trialkylgallium der allgemeinen Formel $R_1R_2R_3Ga$ (wobei R_1, R_2 und R_3 jeweils einen Niederalkylrest mit 1-3 Kohlenstoffatomen darstellen), wie Trimethylgallium ($(CH_3)_3Ga$, nachstehend als TMG bezeichnet) und Triethylgallium ($(C_2H_5)_3Ga$, nachstehend als TEG bezeichnet); Trialkylaluminium der allgemeinen Formel $R_1R_2R_3Al$ (wobei R_1, R_2 und R_3 jeweils einen Niederalkylrest mit 1-4 Kohlenstoffatomen darstellen), wie Trimethylaluminium ($(CH_3)_3Al$), Triethylaluminium ($(C_2H_5)_3Al$, nachstehend als TEA bezeichnet) und Triisobutylaluminium ($(i-C_4H_9)_3Al$); Trimethylaminalan ($(CH_3)_3NAlH_3$); Trialkylindium der allgemeinen Formel $R_1R_2R_3In$ (wobei R_1, R_2 und R_3 jeweils einen Niederalkylrest mit 1-3 Kohlenstoffatomen darstellen), wie Trimethylindium ($(CH_3)_3In$, nachstehend als TMI bezeichnet) und Triethylindium ($(C_2H_5)_3In$), ein. Diese können allein oder in Kombination verwendet werden.

Beispiele des Materials der Gruppe V schließen Ammoniak, Hydrazin, Methylhydrazin, 1,1-Dimethylhydrazin, 1,2-Dimethylhydrazin, tert-Butylamin und Ethylendiamin ein. Diese können allein oder in Kombination verwendet werden. Von diesen Materialien enthalten Ammoniak und Hydrazin kein Kohlenstoffatom in ihren Molekülen, woraus sich weniger Kontaminierung von Kohlenstoff in den Halbleiter ergibt, und daher sind sie bevorzugt.

Als Dotierungsmittel des n-Typs des III-V Halbleiters werden Si, Ge und O verwendet. Von diesen ist Si bevorzugt, da ein n-Typ mit geringem Widerstand leicht gebildet werden kann und ein hochreines Ausgangsmaterial erhältlich ist. Als Ausgangsmaterial zum Dotieren werden z. B. Si, Silan (SiH_4) und Disilan (Si_2H_6) verwendet.

Beispiele

Nachstehend wird die vorliegende Erfindung im einzelnen durch die Beispiele und Vergleichsbeispiele beschrieben, die nicht als Einschränkung des Bereichs der Erfindung aufgefaßt werden sollten.

Beispiele 1 bis 5

Unter Verwendung eines ersten Wachstumsreaktors wurden Proben mit nur der LED unteren Teilstruktur (erster Teil

DE 198 35 008 A 1

10), die in Fig. 1 gezeigt ist, fünfmal hintereinander gezüchtet.

Saphir mit einer spiegelpolierten (0001)-Ebene wurde mit einem organischen Lösungsmittel gewaschen und als Substrat 3 verwendet. Das Aufwachsen wurde gemäß einem zweistufigen Verfahren unter Verwendung einer Niedertemperaturwachstumsplatterschicht durchgeführt. Zuerst wurde eine GaN Pufferschicht 4 mit einer Dicke von 500 Å bei 550°C 5 unter Verwendung von TMG und Ammoniak als Ausgangsstoffen und Wasserstoff als Trägergas erzeugt.

Als nächstes wurde, nachdem die Temperatur auf 1100°C erhöht worden war, eine GaN-Schicht des n-Typs 5 mit einer Dicke von 3 µm unter Verwendung von TMG und Ammoniak und Silan (SiH_4) als Dotierungsmittel aufwachsen gelassen. Anschließend wurde die Zufuhr von Silan abgebrochen und eine nicht dotierte GaN-Schicht 6 mit einer Dicke von 1500 Å aufwachsen gelassen.

10 Dann wurde die Temperatur auf 760°C vermindert und eine nicht dotierte GaN-Schicht 7 mit einer Dicke von 300 Å unter Verwendung eines Trägergases aus Stickstoff, TEG und Ammoniak aufwachsen gelassen. Danach wurde unter Verwendung von TEG, TMI und Ammoniak eine $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ -Schicht (InGaN-Schicht 8) mit einer Dicke von 50 Å, die eine lichtemittierende Quantenquellschicht ist, aufwachsen gelassen. Anschließend wurde unter Verwendung von TEG, TEA und Ammoniak eine $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ -Schicht (AlGaN-Schicht 9) mit einer Dicke von 150 Å aufwachsen gelassen.

15 Nachdem die Temperatur auf Raumtemperatur vermindert worden war, wurden die Proben aus dem ersten Wachstumsreaktor herausgenommen. Dann wurden die Proben mit He-Cd-Laser bestrahlt, um die Raumtemperaturphotolumineszenz (nachstehend manchmal als PL abgekürzt) zu messen und so die optischen Eigenschaften zu beurteilen. Alle Proben zeigten eine klare bläulich grüne Fluoreszenz.

Dann wurden die Proben, für die die PL-Messung durchgeführt worden war, einer Oberflächenreinigung unter Verwendung von Aceton, Fluorwasserstoffsäure und einer $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung in dieser Reihenfolge unterzogen.

20 Danach wurden die Proben in einen zweiten Wachstumsreaktor gegeben, um die restliche Struktur (den zweiten Teil 13) der LED aufwachsen zu lassen. Zuerst wurden die Proben in einem Strom eines gemischten Gases aus Ammoniak und Stickstoff 1, 3 oder 5 Minuten auf 900°C oder 1100°C gehalten. Die Bedingungen des Hochtemperaturhalteschritts in Ammoniak für jede Probe sind in Tabelle 1 aufgeführt. Danach wurden bei 760°C TEG und TEA zugeführt, um eine 25 AlGaN-Schicht 11 mit einer Dicke von 150 Å aufwachsen zu lassen. Dann wurde die Temperatur wieder auf 1100°C erhöht und unter Verwendung von TMG und Ammoniak und FCp_2Mg als Dotierungsmittelquelle des p-Typs eine GaN-Schicht des p-Typs 12 mit einer Dicke von 5000 Å aufwachsen gelassen.

Nach vollständigem Aufwachsen wurde das Substrat herausgenommen und bei 800°C in Stickstoff hitzebehandelt und die GaN-Schicht 12 zu einer Schicht des p-Typs mit geringem Widerstand geformt.

30 Die so erhaltenen Proben wurden mit dem nachstehend beschriebenen Verfahren verarbeitet, um eine p-Elektrode und eine n-Elektrode zu bilden, woraus eine LED erhalten wurde.

Zuerst wurde ein Photoresistmuster mit einem Photolithographieverfahren gebildet, um einen als p-Elektrode zu verwendenden Film aus NiAu mit einer Dicke von 1500 Å mit einem Vakuumverdampfungsverfahren zu bilden, und ein p-Elektrodenmuster mit einem Ablöseverfahren gebildet. Dann wurde ein Photoresistmuster mit einem Photolithographic-verfahren gebildet, um einen als n-Elektrode zu verwendenden Film aus Al mit einer Dicke von 1000 Å mit einem Vakuumverdampfungsverfahren zu bilden, und ein n-Elektrodenmuster mit einem Ablöseverfahren gebildet.

35 Wenn ein Durchlaßstrom mit 20 mA durch jede LED-Probe, bei der die p- und n-Elektroden gebildet worden waren, geleitet wurde, zeigte jede Probe eine helle blaue Lichtemission, und die in Tabelle 1 aufgeführte Leuchtdichte wurde erhalten.

40

Tabelle 1

45	Bedingungen des Halteschritts		Leuchtdichte (mcd)
	Temperatur (°C)	Zeit (Minuten)	
Beispiel 1	1100	5	560
Beispiel 2	1100	3	750
Beispiel 3	1100	1	540
Beispiel 4	900	5	400
Beispiel 5	900	3	680

Beispiel 6

60 Eine Probe mit einer in Fig. 4 gezeigten Struktur wurde wie in den Beispielen 1 bis 5 hergestellt. Genauer wurden auf Saphir eine Pufferschicht 4, eine GaN-Schicht des n-Typs 5 und eine nicht dotierte GaN-Schicht 6 aufwachsen gelassen und weiter bei 785°C eine nicht dotierte GaN-Schicht 7 mit einer Dicke von 300 Å, eine nicht dotierte InGaN-Schicht 8 mit einer Dicke von 30 Å und eine AlGaN-Schicht 9 mit einer Dicke von 300 Å aufwachsen gelassen. Danach wurde 65 eine nicht dotierte InGaN-Schicht 14 weiter mit einer Dicke von 30 Å aufwachsen gelassen und die Temperatur vermindert, um die Probe aus dem Wachstumsreaktor zu nehmen. Die InGaN-Schicht 14 wies ein InN-Kristallmischverhältnis von etwa 30% auf. Die Probe wurde im zweiten Wachstumsreaktor wie in Beispiel 2 hitzebehandelt, um weiter eine AlGaN-Schicht 11 mit einer Dicke von 150 Å bei 785°C und eine GaN-Schicht des p-Typs 12 mit einer Dicke von 5000 Å

DE 198 35 008 A 1

bei 1100°C aufwachsen zu lassen. Diese wurde wie in den Beispielen 1 bis 5 zu einer LED verarbeitet. Die Beurteilung davon zeigte, daß eine blaue Lichtemission beobachtet wurde, und die Leuchtdichte betrug 1.4 cd.

Beispiel 7

Eine LED wurde unter den gleichen Bedingungen wie in den Beispielen 1 bis 5 hergestellt, außer daß der Schritt des Hochtemperaturhalte in Ammoniak nicht durchgeführt wurde (d. h. der erste Teil 10 wurde im ersten Wachstumsreaktor und die restliche Struktur (der zweite Teil 13) wurde im zweiten Wachstumsreaktor aufwachsen gelassen). Die Beurteilung davon zeigte, daß eine helle blaue Lichtemission beobachtet wurde, und die Leuchtdichte betrug 150 mcd.

Vergleichsbeispiel 1

Unter Verwendung eines größeren Typs von Wachstumsreaktor als in den Beispielen 1 bis 7 verwendet, wurde eine Probe mit der unteren Teilstruktur (der erste Teil 10) von Fig. 1 einmal hergestellt, um die Raumtemperatur-PL zu messen und eine intensiv bläulich-grüne Fluoreszenz festgestellt. Dann wurde unter Verwendung des gleichen Wachstumsreaktors das Aufwachsen der oberen Teilstruktur (der zweite Teil 13) von Fig. 1, einschließlich eines Schritts unter Verwendung einer Dotierungsmittelquelle des p-Typs aus $EC_{27}Mg$, einmal durchgeführt. Zum Überprüfen der Wirkung des Rückstands an Dotierungsmittelquelle des p-Typs im Reaktor wurde eine Probe der unteren Teilstruktur (der erste Teil 10) von Fig. 1 siebenmal hintereinander unter Verwendung des gleichen Reaktors hergestellt. Dann wurde die Raumtemperatur PL-Intensität für die so erhaltenen Proben gemessen.

Wie in Tabelle 2 gezeigt, zeigt verglichen mit der Probe vor Verwendung einer Mg-Quelle, jede Probe nach Verwendung der Mg-Quelle sehr geringe Raumtemperatur PL-Intensität, was eine Verschlechterung der optischen Eigenschaften ergibt. Die Qualität war nicht ausreichend, um die zweite Struktur zur Bildung von LED darauf aufwachsen zu lassen.

Tabelle 2

	PL-Intensität (Relativer Wert)
Vor Verwendung der Mg-Quelle	100
Nach Verwendung der Mg-Quelle Erstes Mal	0
Nach Verwendung der Mg-Quelle Zweites Mal	1.9
Nach Verwendung der Mg-Quelle Drittes Mal	0.3
Nach Verwendung der Mg-Quelle Viertes Mal	3.9
Nach Verwendung der Mg-Quelle Fünftes Mal	1.4
Nach Verwendung der Mg-Quelle Sechstes Mal	6.7
Nach Verwendung der Mg-Quelle Siebtes Mal	5.7

Beispiel 8

Der in Vergleichsbeispiel 1 verwendete große Wachstumsreaktor wurde zerlegt, gewaschen und getrocknet. Danach wurde der Wachstumsreaktor zusammengebaut und das Quarzteil bei 1100°C in Wasserstoff hitzebehandelt.

Um zu bestätigen, daß die Wirkung der Mg-Quelle beendet ist, wurde die untere Teilstruktur (der erste Teil 10) der LED von Fig. 1 hergestellt und aus dem Reaktor herausgenommen. Die Messung der Raumtemperatur PL zeigte, daß eine helle bläulich-grüne Fluoreszenz gezeigt wurde.

Die Probe, für die die Raumtemperatur PL-Messung durchgeführt worden war, wurde in den in den Beispielen 1 bis 7 verwendeten zweiten Wachstumsreaktor gegeben. Dann wurde ohne Durchführen des Hochtemperaturhalteschritts in Ammoniak das Aufwachsen der restlichen Schichtstruktur (der zweite Teil 13) einschließlich eines Schritts unter Verwendung einer Mg-Quelle durchgeführt. Auf der so erhaltenen Probe wurden p- und n-Elektroden, wie in den Beispielen 1 bis 7 verwendet, gebildet, um einen Durchlaßstrom von 20 mA durchzuleiten.

Die Beurteilung davon zeigte, daß eine blaue Lichtemission beobachtet wurde, und die Leuchtdichte betrug 115 mcd.

Beispiel 9

Unter Verwendung der Apparatur in Beispiel 8 wurden eine Pufferschicht 4 mit einer Dicke von 500 Å, eine GaN-Schicht des n-Typs 5 mit einer Dicke von 4 µm, nicht dotierte GaN-Schichten 6 und 7 mit einer Gesamtdicke von 7000 Å, eine InGaN-Schicht 8 mit einer Dicke von 30 Å und eine AlGaN-Schicht 9 mit einer Dicke von 300 Å gezüchtet und die Temperatur vermindert, um die erhaltene Probe aus dem Wachstumsreaktor zu nehmen. Die Probe wurde im zweiten Wachstumsreaktor wie in Beispiel 2 hitzebehandelt. Anschließend wurden eine AlGaN-Schicht 11 mit einer Dicke von 150 Å und eine GaN-Schicht des p-Typs 12 mit einer Dicke von 5000 Å aufwachsen gelassen und zu einer LED wie in

DE 198 35 008 A 1

den Beispielen 1 bis 5 verarbeitet. Die Beurteilung davon zeigte eine blaue Lichtemission, und die Leuchtdichte betrug 500 mcd.

Beispiel 10

5 Im ersten Wachstumsreaktor wurde eine Probe mit der in Fig. 5 gezeigten Struktur hergestellt. Das heißt, wie in den Beispielen 1 bis 5 wurden eine Pufferschicht 4 mit einer Dicke von 500 Å, eine GaN-Schicht des n-Typs 5 mit einer Dicke von 3 µm, eine nicht dotierte GaN-Schicht 6 mit einer Dicke von 1600 Å aufwachsen gelassen, gefolgt vom Aufwachsenlassen einer nicht dotierten GaN-Schicht 7 mit einer Dicke von 250 Å bei 785°C. Danach wurde eine 30 Å dicke 10 nicht dotierte InGaN Quellschicht 15 und eine 150 Å dicke nicht dotierte GaN Sperrschiicht 16 abwechselnd 5mal bzw. 4mal aufwachsen gelassen. Weiter wurde eine 300 Å dicke AlGaN Schicht 9 aufwachsen gelassen und die Temperatur verringert, um die Probe aus dem Wachstumsreaktor herauszunehmen. Wie in Beispiel 9 wurde die Probe hitzebehandelt, um eine AlGaN Schicht 11 und eine GaN Schicht des p-Typs 12 im zweiten Wachstumsreaktor aufwachsen zu lassen. Diese wurde wie in den Beispielen 1 bis 5 zu einer LED verarbeitet. Die Beurteilung davon zeigte eine bläulich-grüne 15 Lichtemission, und die Leuchtdichte betrug 3 cd.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) durch ein metallorganisches Gasphasenepitaxieverfahren, wobei der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine Halbleiterschicht aufweist, die eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht einschließt, wobei ein Reaktor für das Aufwachsenlassen der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und ein anderer Reaktor zum Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs verwendet werden.
2. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ (wobei $x + y + z = 1, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$ und $0 \leq z \leq 1$) durch ein metallorganisches Gasphasenepitaxieverfahren, wobei der III-V Halbleiter eine Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, und eine mit einem Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthaltende Halbleiterschicht aufweist, wobei das Verfahren die Schritte umfaßt: (1) Aufwachsenlassen eines Halbleiters, der eine oder mehrere Schichten einschließt, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht bestehen, in einem Reaktor und Herausnehmen aus dem Reaktor, und (2) erneutes Einbringen des erhaltenen Halbleiters in den Reaktor um eine Halbleiterschicht, die eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthält, auf der Halbleiterschicht, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, in dieser Reihenfolge aufwachsen zu lassen, und mehrmals Wiederholen mindestens eines der Schritte (1) oder (2).
3. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters nach Anspruch 2, wobei das Verfahren weiter den Schritt (3) des Reinigens des Inneren des Reaktors anschließend an Schritt (2) umfaßt und die Schritte (1) bis (3) wiederholt werden.
4. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Verfahren weiter den Schritt des Haltens bei einer Temperatur im Bereich von 500°C bis 1300°C vor dem Dotieren mit einem Dotierungsmittel des p-Typs umfaßt.
5. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters nach Anspruch 4, wobei die Oberflächenschicht der Halbleiterschichten, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht besteht, ein Halbleiter der allgemeinen Formel $In_xGa_yAl_zN$ ist (wobei $x + y + z = 1, 0 < x \leq 1, 0 \leq y < 1$ und $0 \leq z < 1$).
- 45 6. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei bei den Halbleiterschichten, die eine mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht enthalten, die zuerst herzustellende Schicht eine nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierte Schicht ist.
7. Verfahren zur Herstellung eines III-V Halbleiters nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei mindestens eine Schicht der Halbleiterschichten, die aus einer nicht mit Dotierungsmittel des p-Typs dotierten Schicht bestehen, in Kontakt mit und zwischen zwei Schichten mit größerer Bandbreite als dieser Schicht angeordnet ist.

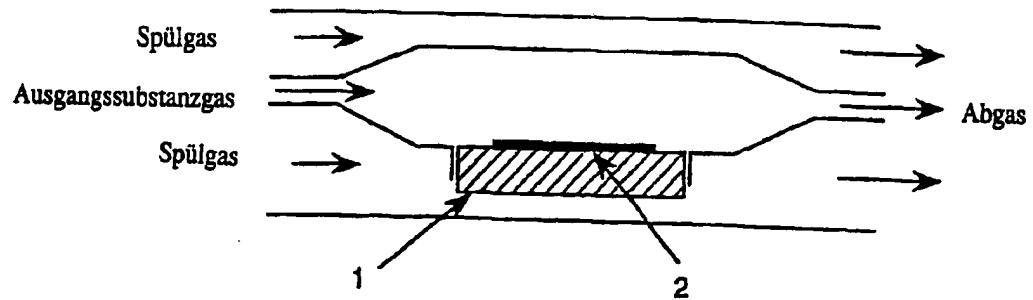
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

55

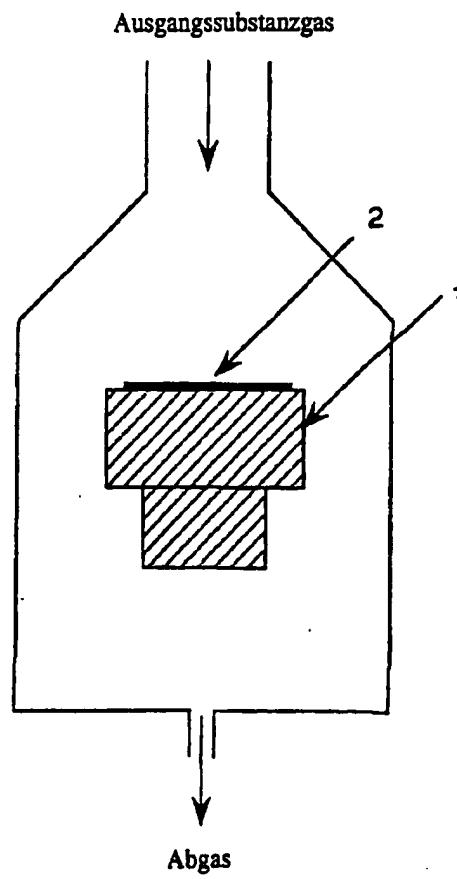
60

65

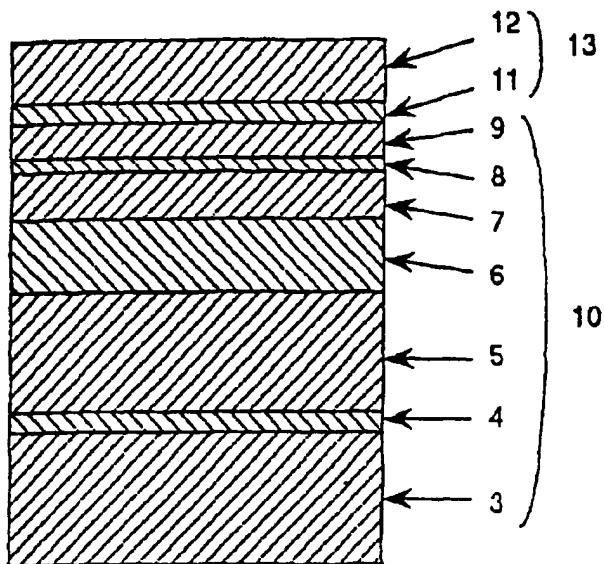
Figur 1



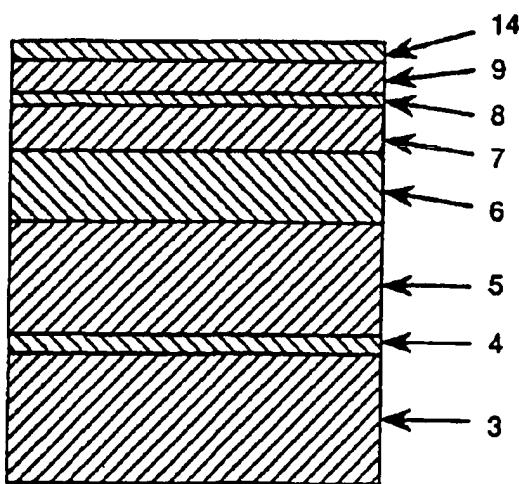
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5

